

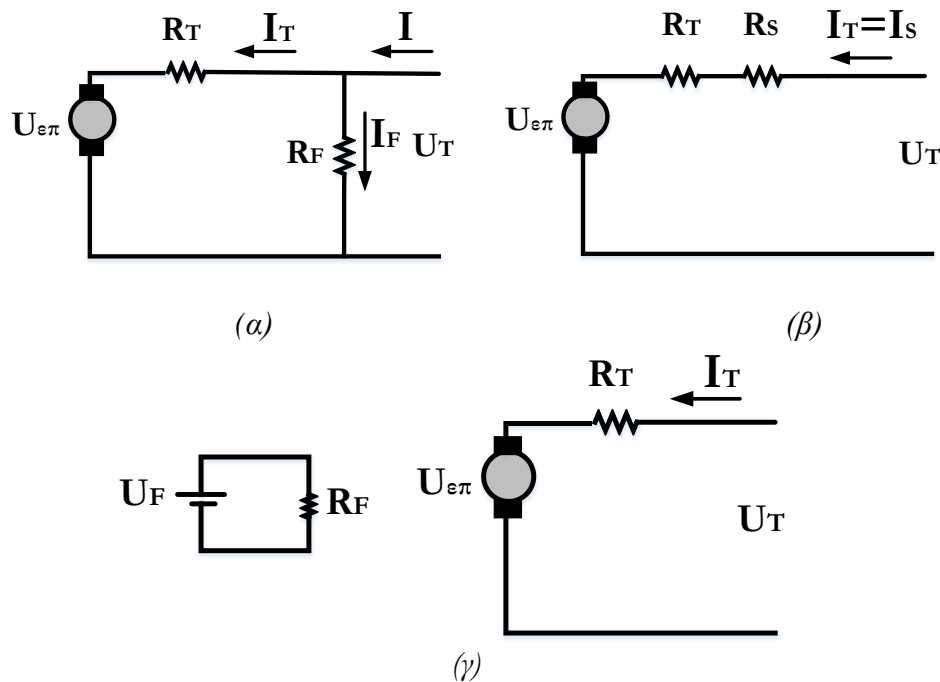
5.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός την Άσκησης είναι η μελέτη του τρόπου λειτουργίας και ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων DC. Αναλύονται ο τρόπος εκκίνησης και ρύθμισης της ταχύτητας για τους κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης, παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς.

5.2 Κατηγορίες κινητήρων DC

Οι βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος είναι:

- ανεξάρτητης διέγερσης (separately excited dc motor)
- παράλληλης διέγερσης (shunt dc motor)
- με μόνιμο μαγνήτη (permanent-magnet dc motor)
- διέγερσης σειράς (series dc motor)
- σύνθετης διέγερσης (compounded dc motor)



Σχήμα 5.1: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος (α) παράλληλης διέγερσης, (β) διέγερσης σειράς, (γ) ανεξάρτητης διέγερσης

Παρά το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές είναι εναλλασσομένου ρεύματος, οι κινητήρες DC πλεονεκτούν σε εφαρμογές στις οποίες απαιτούνται σημαντικές μεταβολές στην ταχύτητα (αυτοκίνητα, φορτηγά κλπ). Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος τροφοδοτούνται από μία πηγή συνεχούς τάσης (είτε γεννήτρια συνεχούς ρεύματος είτε κυκλώματα ηλεκτρονικών ανορθωτών).

5.3 Λειτουργία κινητήρων υπό φορτίου

Στην περίπτωση που ο κινητήρας εργάζεται με φορτίο, η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από το φορτίο και μεταβάλλεται ανάλογα με τις μεταβολές του φορτίου. Για κάθε συνδεσμολογία του Σχήματος 1 ισχύει:

$$I_T = \frac{U_T - U_{επ}}{R_T} \quad (5.1)$$

Όταν ο κινητήρας αρχίσει να παρέχει μηχανική ισχύ σε κάποιο φορτίο, τότε η ταχύτητα περιστροφής του θα ελαττωθεί. Ισχύει:

$$U_{επ} = C \cdot \Phi \cdot \Omega \quad (5.2)$$

οπότε η $U_{επ}$ θα ελαττωθεί, άρα το ρεύμα I_T θα αυξηθεί, και επομένως και η ροπή M θα αυξηθεί, καθώς ισχύει:

$$M = C \cdot \Phi \cdot I_T \quad (5.3)$$

Από τις ως άνω σχέσεις φαίνεται ότι ελάττωση της ταχύτητας, συνεπάγεται αύξηση της κινητήριας ροπής. Η ελάττωση της ταχύτητας θα σταματήσει, μόλις η ροπή γίνει ίση με τη ροπή του φορτίου (και τις απώλειες του κινητήρα). Κάθε μεταβολή του μηχανικού φορτίου θα έχει, επομένως, ως αποτέλεσμα, αντίστοιχη μεταβολή της έντασης του τυμπάνου και συνεπώς της ισχύος που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.

Συνοπτικά:

- ✓ η ροπή του φορτίου M_f ξεπερνάει σε μέγεθος τη ροπή που παράγει η μηχανή M
- ✓ η ταχύτητα περιστροφής αρχίζει να ελαττώνεται ($\Omega \downarrow$)
- ✓ $U_{επ} \downarrow = C\Phi\Omega \downarrow$ ελαττώνεται
- ✓ $I_T \uparrow = (U_T - U_{επ} \downarrow) / R_T$ αυξάνεται
- ✓ η αύξηση του ρεύματος οπλισμού I_T προικαλεί την παραγωγή μεγαλύτερης ροπής από τον κινητήρα $M \uparrow = C\Phi I_T \uparrow$, και τελικά η ροπή του κινητήρα γίνεται ίση με τη ροπή που εφαρμόζει σε αυτόν το φορτίο. Αυτό συμβαίνει σε μια ταχύτητα περιστροφής μικρότερη από την αρχική.

5.4 Χαρακτηριστική φορτίου κινητήρων dc

Θα εξεταστούν οι περιπτώσεις των κινητήρων ανεξάρτητης διέγερσης, παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς.

5.4.1 Κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης και παράλληλης διέγερσης

Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης τροφοδοτείται από μία ανεξάρτητη πηγή συνεχούς τάση, ενώ το αντίστοιχο κύκλωμα ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα οπλισμού του. Εάν θεωρηθεί ότι η τάση τροφοδοσίας ενός κινητήρα παραμένει σταθερή, τότε δεν υπάρχει κάποια πρακτική διαφορά ανάμεσα στους δύο κινητήρες. Για το λόγο αυτό η ανάλυση ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης περιλαμβάνει και την ανάλυση του αντίστοιχου κινητήρα ξένης διέγερσης.

Σύμφωνα με το ισοδύναμο κύκλωμα ισχύει:

$$U_T = C\Phi\Omega + I_T R_T \quad (5.4)$$

Λόγω της σχέσης $M = C \cdot \Phi \cdot I_T$, το ρεύμα τυμπάνου εκφράζεται ως εξής:

$$I_T = \frac{M}{C\Phi} \quad (5.5)$$

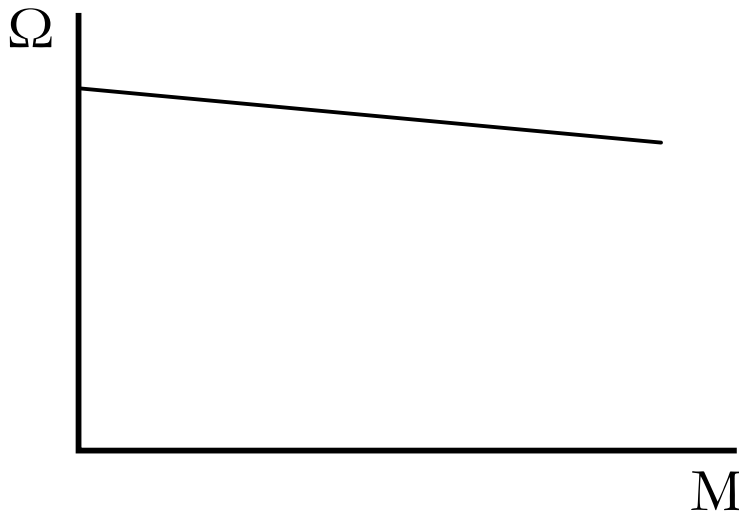
Από το συνδυασμό των δύο τελευταίων εξισώσεων προκύπτει:

$$U_T = C\Phi\Omega + \frac{M}{C\Phi} \cdot R_T \quad (5.6)$$

Λύνοντας ως προς την ταχύτητα έχουμε:

$$\Omega = \frac{U_T}{C\Phi} - \frac{R_T}{(C\Phi)^2} \cdot M \quad (5.7)$$

Η τελευταία εξίσωση είναι μια ευθεία με αρνητική κλίση (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης

5.4.2 Κινητήρες διέγερσης σειράς

Τα τυλίγματα των κινητήρων διέγερσης σειράς διαθέτουν σχετικά λίγεςσπείρες συνδεδεμένες σε σειρά με το κύκλωμα οπλισμού. Το ρεύμα οπλισμού, το ρεύμα διέγερσης και το ρεύμα εισόδου έχουν την ίδια τιμή. Από το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχήματος 1 προκύπτει:

$$U_T = U_{επ} + I_T(R_T + R_S) \quad (5.8)$$

Μία ουσιώδης διαφορά των κινητήρων με διέγερση σειράς είναι ότι η μαγνητική ροή στο εσωτερικό τους είναι ανάλογη του ρεύματος οπλισμού. Ισχύει:

$$\Phi = \Lambda \cdot I_T \quad (5.9)$$

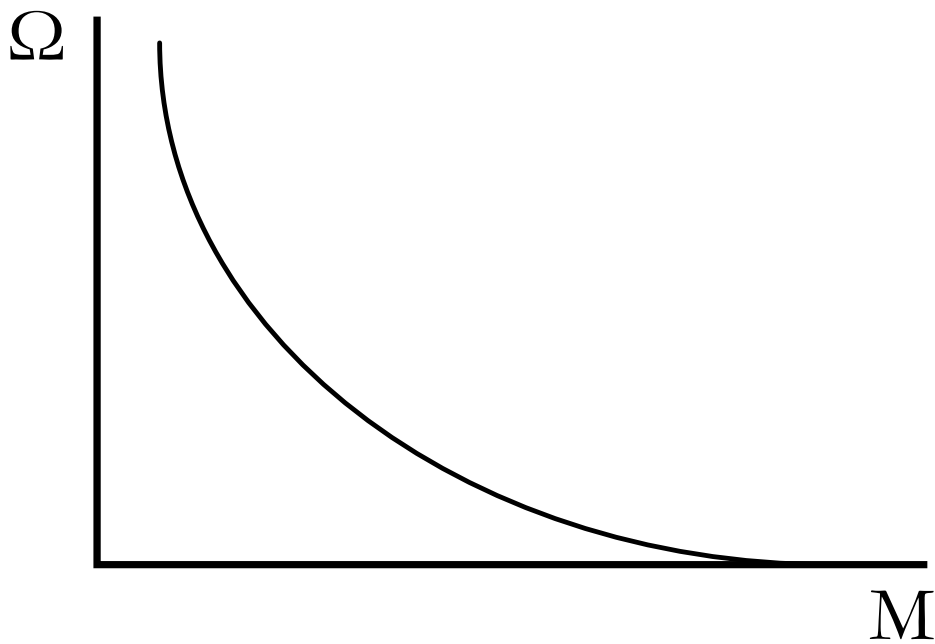
Η επαγόμενη ροπή στον κινητήρα θα είναι:

$$M = C \cdot \Lambda \cdot I_T^2 \quad (5.10)$$

Με βάση τις προηγούμενες εξισώσεις και λαμβάνοντας υπόψιν τη σχέση (5.2) προκύπτει:

$$\Omega = \frac{U_T}{\sqrt{c\Lambda}} \cdot \frac{1}{\sqrt{M}} - \frac{R_T+R_S}{c\Lambda} \quad (5.11)$$

Η εξίσωση (5.11) καταδεικνύει ότι η ταχύτητα ενός κινητήρα (ακόρεστου) με διέγερση σειράς μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της ροπής. Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η καμπύλη ροπής – ταχύτητας.



Σχήμα 5.3: Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης

Ερώτηση: Για ποιο λόγο ένας κινητήρας διέγερσης σειράς δεν πρέπει να μένει χωρίς φορτίο, ούτε να συνδέεται στο φορτίο του μέσω κάποιου ιμάντα ή άλλου μηχανισμού που θα μπορούσε να σπάσει;

.....

5.5 Έλεγχος ταχύτητας κινητήρων DC

5.5.1 Κινητήρες παράλληλης διέγερσης

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι ελέγχου της ταχύτητας στην περίπτωση των κινητήρων παράλληλης διέγερσης είναι:

α. Μεταβολή της αντίστασης διέγερσης

Η μεταβολή της αντίστασης διέγερσης προκαλεί μεταβολή της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του κινητήρα. Στην περίπτωση που αυξηθεί η αντίσταση διέγερσης R_F αυξηθεί, τότε:

το ρεύμα διέγερσης

η μαγνητική ροή

- η $U_{επ}$
- το ρεύμα I_T
- η επαγόμενη ροπή M^*
- η ταχύτητα Ω
- η $U_{επ}$
- το ρεύμα I_T
- τελικά

**Σημείωση: η επαγόμενη ροπή ενός κινητήρα εξαρτάται από το ρεύμα οπλισμού και τη μαγνητική ροή. Στην περίπτωση που η αντίσταση διέγερσης αυξάνει, τότε το ρεύμα διέγερσης μειώνεται, η μαγνητική ροή μειώνεται οπότε και η επαγόμενη τάση στο τύμπανο μειώνεται, με συνέπεια την αύξηση του ρεύματος οπλισμού. Δηλαδή, μια μείωση αύξηση της αντίστασης διέγερσης προκαλεί μείωση της μαγνητικής ροής και αύξηση του ρεύματος οπλισμού. Τότε, όμως, πως μεταβάλλεται η επαγόμενη ροπή; Έστω κινητήρας παράλληλης διέγερσης με αντίσταση οπλισμού $0,25\Omega$, ο οποίος λειτουργεί με τάση $250V$ στα άκρα του, ενώ τη τάση που παράγεται στο εσωτερικό του είναι $245V$. Τι θα συμβεί εάν η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του μειωθεί κατά 1%;*

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

β. Μεταβολή της τάσης στα άκρα του οπλισμού

Στην περίπτωση αυτή μεταβάλλεται η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του οπλισμού, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η τάση στα άκρα του κυκλώματος διέγερσης. **Εάν η τάση στα άκρα του οπλισμού αυξηθεί τότε:**

- το ρεύμα I_T
- η επαγόμενη ροπή M
- η ταχύτητα Ω
- η $U_{επ}$
- το ρεύμα I_T
- τελικά

γ. Σύνδεση αντίστασης σε σειρά με το κύκλωμα οπλισμού

Εάν μια αντίσταση συνδεθεί σε σειρά με το κύκλωμα οπλισμού τότε
.....
.....
.....

Γιατί θεωρείται δαπανηρή μέθοδος;

5.5.2 Κινητήρες διέγερσης σειράς

Η πιο αποδοτική μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας στους κινητήρες με διέγερση σειράς είναι η τάση εισόδου του κινητήρα. Όταν αυξάνεται η τάση εισόδου, αυξάνεται ο πρώτος όρος της εξίσωσης (5.11) και έτσι ο κινητήρας περιστρέφεται πιο γρήγορα για δεδομένη ροπή.

5.6 Εκκίνηση κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Πριν αρχίσει να περιστρέφεται ένας κινητήρας, η τάση $U_{επ}$ στο εσωτερικό του είναι μηδενική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, λόγω της μικρής τιμής της αντίστασης οπλισμού, την ανάπτυξη πολύ μεγάλου ρεύματος (πολλαπλάσιο του ονομαστικού), το οποίο ακόμα και εάν διαρκέσει ελάχιστο χρονικό διάστημα είναι ικανό να δημιουργήσει σοβαρή βλάβη στη μηχανή. Για το λόγο αυτό, σε σειρά με το τύλιγμα οπλισμού συνδέεται μια αντίσταση εκκίνησης, για τον περιορισμό του ρεύματος οπλισμού κατά την εκκίνηση, έως ότι η $U_{επ}$ να γίνει αρκετά μεγάλη. Η αντίσταση εκκίνησης απομακρύνεται τμηματικά όταν η ταχύτητα φθάσει σε μια καθορισμένη τιμή.

Εφαρμογή: Σε έναν κινητήρα παράλληλης διέγερσης, 50HP, 250V, το ρεύμα οπλισμού κατά την πλήρη φόρτιση είναι 200A. Να υπολογίσετε το ρεύμα κατά την εκκίνηση ($R_F=0.05\Omega$).

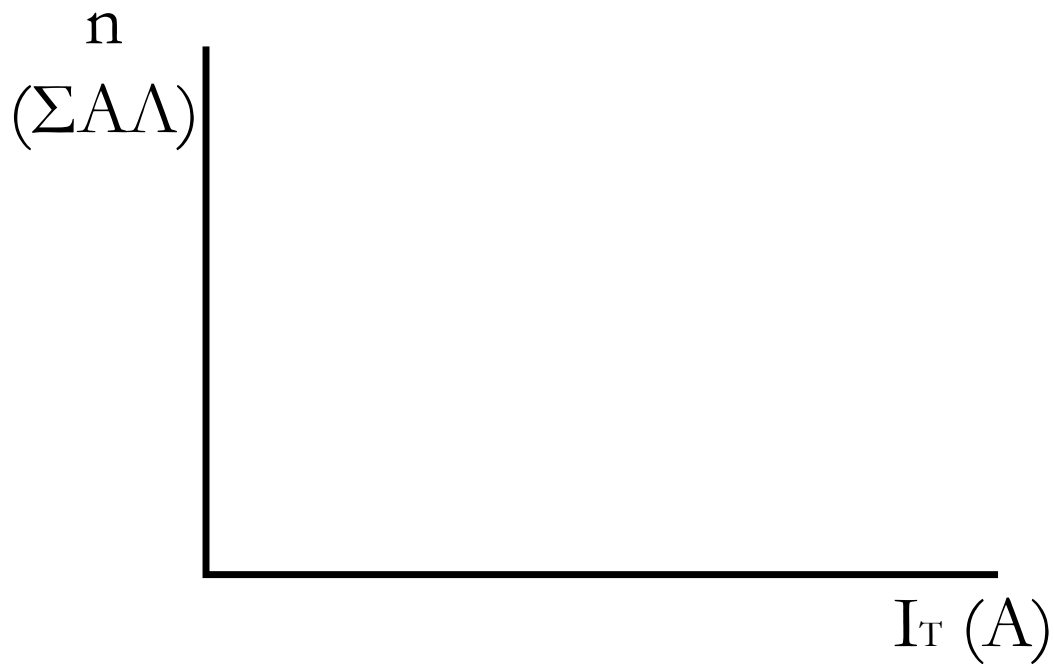
.....
.....
.....
.....
.....
.....

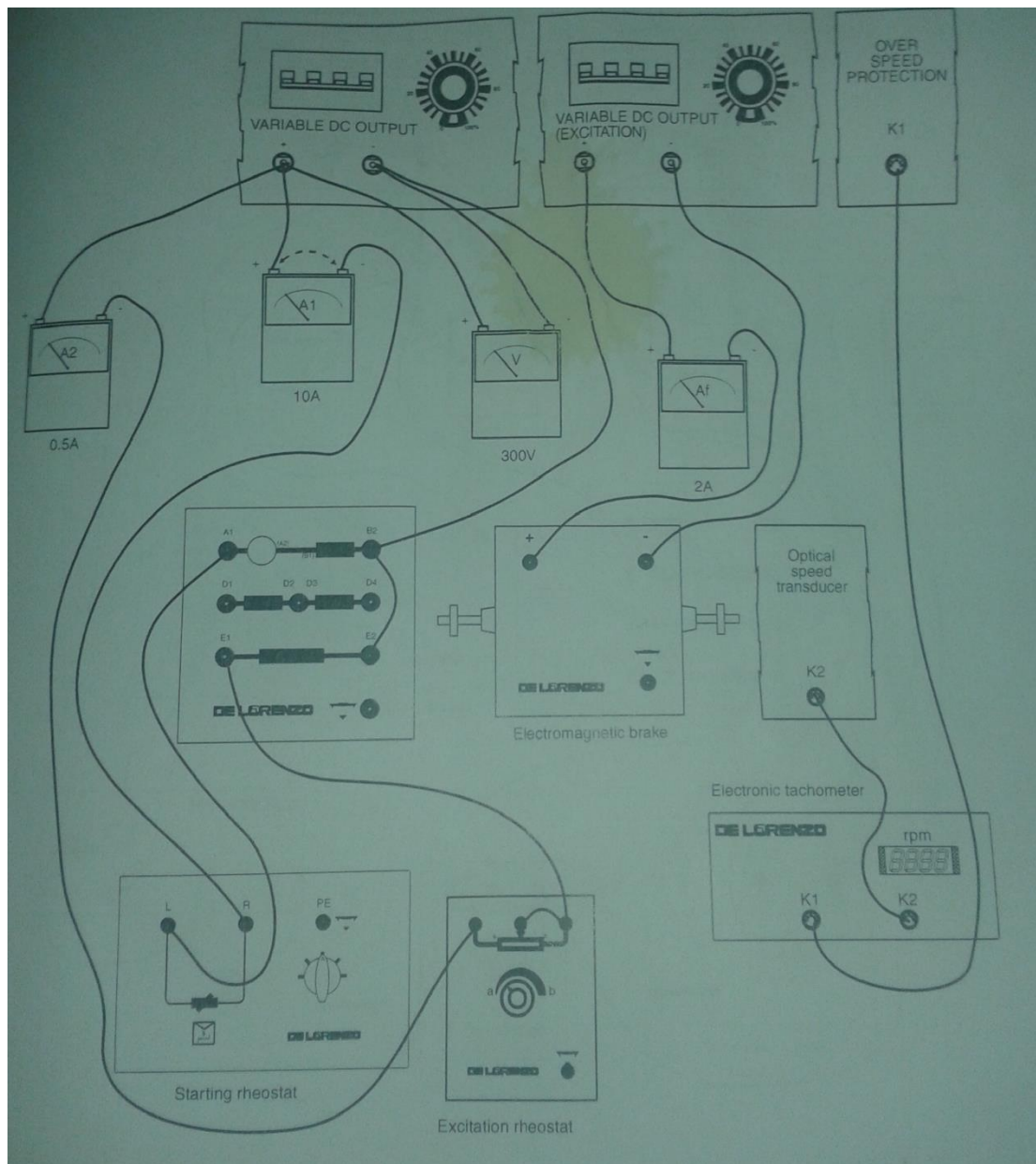
5.7 Εργαστηριακή διάταξη και μετρήσεις

- Πραγματοποιείστε τη συνδεσμολογία του Σχήματος 5.4.
- VARIABLE DC OUTPUT: διακόπτης ανοικτός
- EXCITATION RESISTANCE: min
- STARTING RESISTANCE: max
- Κλείστε τους διακόπτες τροφοδοσίας
- Ρυθμίστε την τάση με τα variac και τις μεταβλητές αντιστάσεις έτσι ώστε να έχετε τις μετρήσεις του Σχήματος 5.4

- Για διάφορες τιμές του ρεύματος οπλισμού, καταγράψτε την ταχύτητα του κινητήρα και σχεδιάστε την χαρακτηριστική ταχύτητας – ρεύματος οπλισμού.

Ρεύμα οπλισμού (Α)	Ταχύτητα (ΣΑΛ)



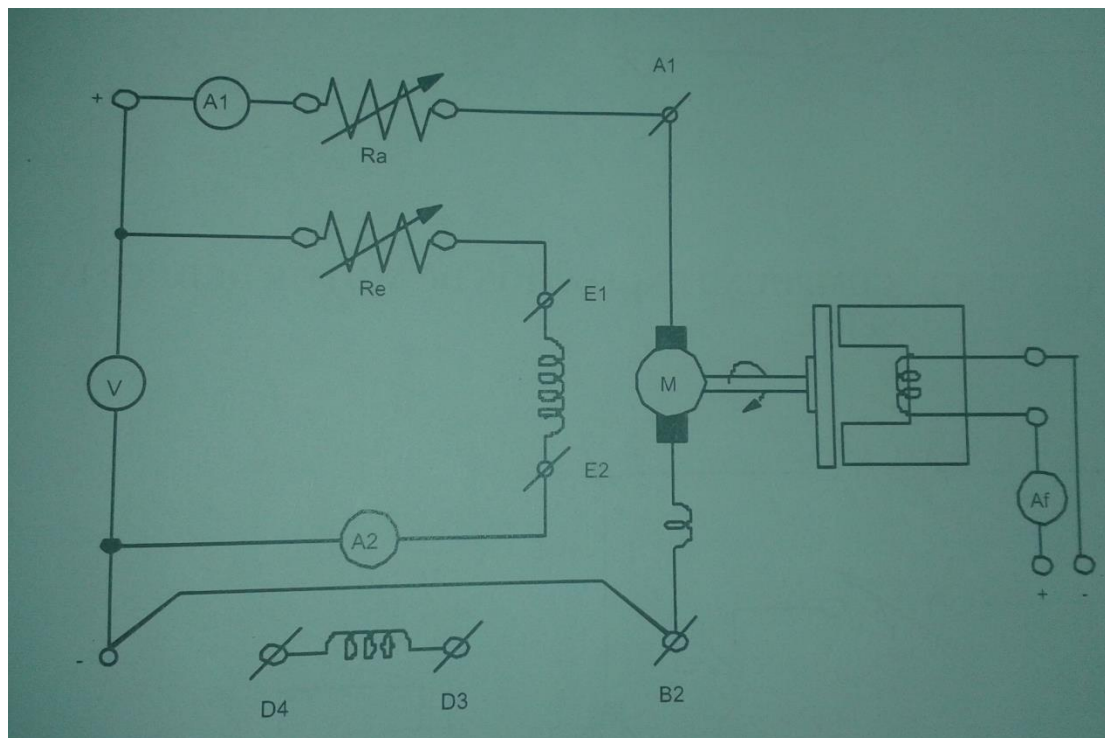


Σχήμα 5.4: Συνδεσμολογία διάταξης

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται το κύκλωμα της άσκησης.

Ποια η συνδεσμολογία του κινητήρα;

.....



Σχήμα 5.5: Κύκλωμα άσκησης